

# 高張力鋼溶接熱影響部の溶接後熱処理脆化に関する研究

著者	鄭 世 喜
号	320
発行年	1976
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/11269">http://hdl.handle.net/10097/11269</a>

氏 名 鄭 世 喜

授 与 学 位 工 学 博 士

学 位 授 与 年 月 日 昭和 5 2 年 1 月 1 2 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 西暦 1958 年 3 月

全北大学校大学院工科機械工学専攻修了

学 位 論 文 題 目 高張力鋼溶接熱影響部の溶接後熱処理脆化に関する  
研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 鈴木 正彦 東北大学教授 横堀 武夫

東北大学教授 川崎 正 東北大学教授 萱場 孝雄

東北大学教授 小林 卓郎

## 論 文 内 容 要 旨

高張力鋼を用いた溶接構造物の脆性破壊の事故は数多く経験されており、破壊事故の防止は現在急を要する課題となっている。これらの脆性破壊防止の上で溶接部の破壊靱性の正確な評価が最も主要である。一方大型溶接構造物、圧力容器などの製作においては溶接残留応力および溶接時に吸蔵される水素の除去などを目的として溶接後熱処理が施行されている。この熱処理によって継手に残留していた溶接残留応力は軽減されるが、この熱処理が600℃程度の比較的高温で実施されるために溶接部、特に熱影響部が焼戻し効果によって著るしく脆化することが知られている。したがって溶接構造物、圧力容器などの設計、製作にあたっては次の問題点を考慮しなければならない。

- (i) 溶接熱影響部破壊靱性の微視組織依存性
- (ii) 溶接部の 3 軸性引張残留応力とそれによる破壊靱性の低下
- (iii) 溶接後熱処理による熱影響部の脆化及び再熱割れ
- (iv) (i)(ii)(iii)をふまえた溶接欠陥の位置とその形状およびその欠陥評価基準

以上の問題点に対しては種々の研究結果が報告されているが、溶接熱影響部の破壊靱性の正確な評価、および熱影響部組織の溶接後熱処理脆化に及ぼす残留応力の影響など未だ未解決の問題が残されている。

本論文は  $60 \text{ kg/mm}^2$  級高張力鋼 (SA 533B class 1) を用い、実用大型多層盛継手の最終ビードによる熱影響部を模擬した一層盛止端部熱影響部の粗粒域に注目して破壊靱性試験および冶金学的考察を行ない、上述の種々の問題点の解明を試みたものである。本研究においては溶接熱影響部の破壊靱性に及ぼす冶金学的因子としては、熱影響部の粒度勾配、その微視組織に含まれている各微視組織構成要素の混合割合及びその分布を 3 つの因子として考慮した。

第 2 章においては、実験方法および溶接供試体について述べた。溶接は原厚  $16.5 \text{ mm}$  の板材から切出した  $25 \times 60 \times 100 \text{ mm}$  の小型ブロックの上に  $10, 20, 30 \text{ KJ/cm}$  の入熱条件 (サブマージ・アーク自動溶接) により一層盛溶接を行ない硬さ測定及び低温破壊靱性試験に供した。硬さ測定はハネマン式微小硬度計 (測定荷重  $20 \text{ g}$ ) によった。破壊靱性試験はシャルピー型試験片を用いて 3 点曲げによる COD 試験法を採用した。

第 3 章においては、鋼材の炭素当量が定まると溶接熱影響部に現われる焼入微視組織の最高硬さが求められること、またこの鋼材に関しては一つの冷却速度について一つの固有の硬度が対応することがわかっているので硬さ比  $H_v / (H_v)_M$  ( $H_v$ : 注目する熱影響部組織の硬さ,  $(H_v)_M$ : この鋼材の  $100\%$  マルテンサイト組織の硬さ) を用いて熱影響部微視組織の構成要素の混合割合を判別できることを述べたものである。

第 4 章においては熱影響部組織固有の靱性を評価する新しいパラメータについて述べている。即ち一層盛溶接止端部熱影響部に上述の硬さ測定にもとづく組織判定法を適用し、熱影響部微視組織を定量的に判別し、それらの微視組織の溶接熱サイクル依存性を明らかにした。同時にこれらの組織に対する小型 COD 破壊靱性実験を行ない、破壊靱性の温度依存性、切欠き半径依存性を求めた。以上の観察結果にもとづき止端部熱影響部の靱性を表示する次のような新しいパラメータを導入した。

$$P_{HT} = \sqrt{\rho} \cdot \frac{1}{\sqrt{d_{\max}}} \cdot \sqrt{\frac{X_{A1}}{L_C}} \cdot \frac{(H_v)_M}{H_v} \quad \dots\dots\dots (1)$$

この(1)式で熱影響部について定義されている諸量は図 1 に示されている通りである。

ここで  $\rho$  : 切欠き先端半径

$d_{\max}$  : 熱影響部粗粒域における旧オステナイト結晶粒の平均最大粒径

$L_G$  : 硬さ一定領域の長さ

$X_{A_1}$  : 融合境界から  $A_1$  変態点までの距離

$H_V/(H_V)_M$  : 鋼材の 100% マルテンサイトの硬さによって規格化された硬さ比

この靱性パラメータには熱影響部微視組織の粒度勾配、組織勾配及び切欠先端形状など靱性に影響を与えるすべての冶金学的因子を含むものであり、図 2 に示す様にこのパラメータ  $P_{HT}$  を用いて組織固有の靱性を説明することができる。

第 5 章では、これまで述べた一層盛溶接継手熱影響部について溶接後熱処理を施し第 4 章で述べた止端部熱影響部の組織固有の靱性におよぼす残留応力の影響について詳細に検討した結果を述べている。まず小型溶接供試体に残存している残留応力の三次元的分布を応力弛緩法を用いて実測し、これらを次式で示す有効残留応力 ( $\bar{\sigma}_r$ ) として整理した。

$$\bar{\sigma}_r = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\sigma_T - \sigma_L)^2 + (\sigma_L - \sigma_{ST})^2 + (\sigma_{ST} - \sigma_T)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $\sigma_L$  : 溶接線方向の応力

$\sigma_T$  : 溶接線に直角方向の応力

$\sigma_{ST}$  : 板厚方向の応力

これら溶接供試体より小型曲げ試験片として切断することにより残留応力を除去した試験片について溶接後熱処理を施した試験片と、有効残留応力  $\bar{\sigma}_r = 15 \text{ kg/mm}^2$  が存在する小型溶接継手を後熱処理した後小型試験片にしたものの 2 種類の試験片について破壊靱性試験を実施した。ここで採用した溶接後熱処理条件は実用焼鈍条件を模擬し  $600^\circ\text{C}$  15 分、 $600^\circ\text{C}$  40 時間の 2 種類とした。その結果溶接後熱処理時の継手に残存する残留応力によって熱影響部組織固有の破壊靱性値は劣下することが明らかにされた。

第 6 章では同一鋼材の圧力容器大型多層盛溶接継手止端部熱影響部についても前述の一層盛小型継手の場合と同様な実験解析を実施し、この結果を一層盛溶接継手について得られた結果と対比検討した。ここでは大型溶接継手にあらわれる溶接後熱処理脆化について前述のパラメータ  $P_{HT}$  を用いて考察したものを述べている。さらに溶接後熱処理によって止端部熱影響部の組織固有の靱性の脆化をもたらすものはいわゆる応力時効現象に類似した現象であることを明らかにした。即ち溶接後熱処理により現われる焼もどし過程を次のような応力時効パラメータ  $P_{SA}$  を用いて説明することができた。

$$P_{SA} = (\bar{\sigma}_r) \cdot \log t(PWHT) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $\bar{\sigma}_r$  : 有効残留応力

$t(\text{PWHT})$  : 後熱処理時間 (分)

なお、溶接後熱処理にともなう COD 遷移温度 ( $T_{Tr}$ ), 熱影響部靱性パラメータ ( $P_{HT}$ ) および応力時効パラメータ ( $P_{SA}$ ) の 3 つの量にもとづき溶接後熱処理脆化を示す図 3 および 4 の立体図形を描くことができた。

第 7 章においては、大型溶接継手製作にあたり溶接後熱処理後に残存する溶接残留応力とそれまでに生じた後熱処理脆化の両者を考え合わせるにより大型溶接部の破壊靱性を正確に評価できることを述べてある。

第 8 章は結論である。

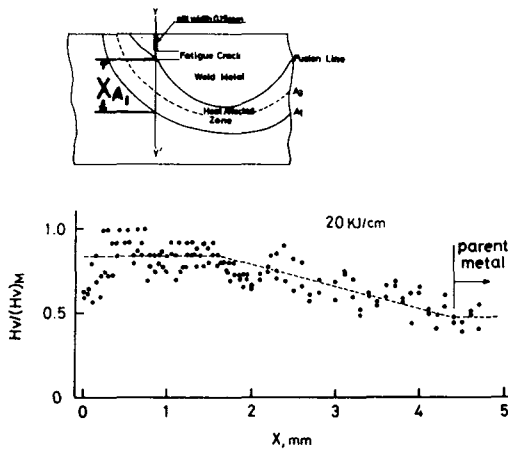


図 1 溶接熱影響部における  $H_v/(H_v)_M$  の分布の一例

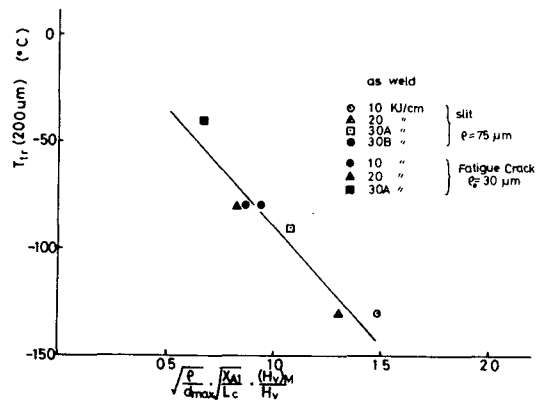


図 2 熱影響部靱性パラメータと COD 遷移温度の関係

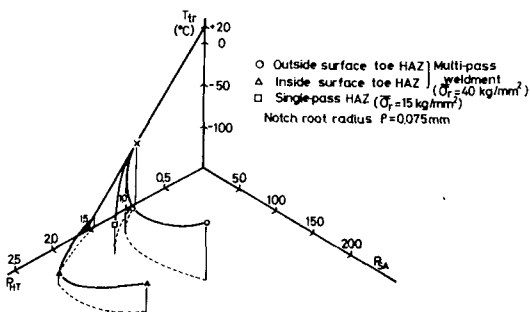


図 3  $P_{HT}-P_{SA}-T_{Tr}$  の関係を表す立体図形

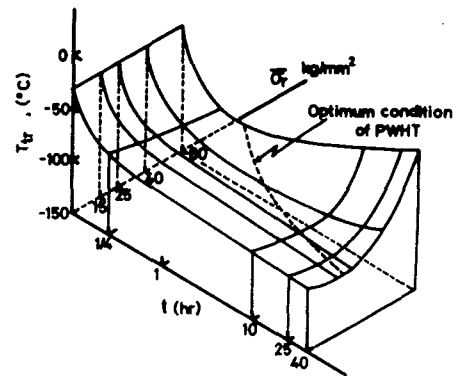


図 4 有効残留応力  $\bar{\sigma}_r$ , 後熱処理時間  $t$  および COD 遷移温度の関係を示す立体図形

## 審 査 結 果 の 要 旨

圧力容器など重要な溶接構造物では溶接後熱処理により残留応力を軽減すると同時に溶接時に吸蔵された水素を除去している。しかしこの処理によって溶接部特に熱影響部粗大結晶粒域に粒界われが発生することが多く、安全性の上で重大な問題となっている。本論文は高張力鋼溶接熱影響部の微視構成要素、結晶粒度などの冶金学的因子及び3軸性溶接残留応力を考慮し、従来不明であった熱影響部組織固有の破壊靱性に及ぼす溶接後熱処理の影響を明らかにしたもので8章よりなる。

第1章は緒論であり高張力鋼溶接後熱処理に関する問題点をあげている。

第2章は供試材及び実験法について述べている。

第3章では微小硬度計によって熱影響部止端部組織の硬さを測定し、これより止端部の微視構成要素を類別している。

第4章では一層盛溶接継手について種々異った熱履歴をうけた熱影響部止端部組織の溶接のままでの破壊靱性に対する組織の冶金学的諸因子及びき裂先端半径の影響を検討している。この結果複雑な組織をもつ熱影響部の破壊靱性を一義的に定めることの出来る新しい一つのパラメーターを見出している。

第5章は溶接残留応力を保有する熱影響部止端部の破壊靱性に対する溶接後熱処理の影響を論じたものである。溶接残留応力としては応力緩和法による実測値より算出した有効応力を採用し、溶接後熱処理による脆化の程度はこの有効応力の大きさに直接依存するものであることを見出している。

第6章では圧力容器大型多層盛溶接継手の熱影響部について考察し、有効応力と後熱処理時間とを含む別の新しいパラメーターを提案している。この結果溶接後熱処理を施した熱影響部止端部の破壊靱性は、このパラメーターと第4章で導入したパラメーターとによって一義的に与えられることを明らかにしている。これは溶接継手の脆性破壊防止の上で貴重な知見である。

第7章では以上の結果をふまえ熱影響部組織の靱性劣化を回避するための溶接後熱処理条件を与えるとともに大型溶接継手についての最適後熱処理条件に対する指針をしめしている。これは実用上有用な指針である。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は高張力鋼溶接熱影響部の微視構成要素ならびに3軸性溶接残留応力を考慮し、熱影響部組織固有の破壊靱性を評価する新しいパラメーターを提案し、溶接後熱処理による脆化の原因を究明したものであって、機械工学上ならびに溶接工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。